بررسی شاخص‌های حدی بارش به عنوان نشانه تغییر اقلیم در استان مازندران

سجاد روزبه کوهشاهی*[۱]، کاکا شاهدی[۲]، اعظم علیپور[۳]

۱*- دانشجوی دکتری آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری (*Email: Rozbeh.koshahi@gmail.com*)

۲- دانشیار گروه آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۳- دانشجوی دکتری آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

چکیده

یکی از اثرات تغییر اقلیم بروز بی‌نظمی در چرخه هیدرواقلیمی کره زمین است. این تغییرات در عدم موازنه تراز سطح آب در منابع آب زیرزمینی، سطحی، دریاچه‌ها و همچنین تغییر در توزیع مقدار و تغییر در توزیع زمانی و مکانی بارش‌ها و جریان رودخانه نمود پیدا می‌کند. هدف از این مطالعه بررسی شاخص‌های حدی بارش در استان مازندران به منظور آشکارسازی نشانه‌های تغییر اقلیم می‌باشد. در این پژوهش ۸ شاخص بارش (R10، R20 ، R95P ، R99P ، RX5day ، CWD، CDD، RX1day) در ۱۰ ایستگاه بارانسنجی، تبخیرسنجی و سینوپتیک با استفاده از داده‌های روزانه بارش و به کارگیری نرم‌افزار RClimDex و آزمون من – کندال بررسی شدند. نتایج حاصل نشان دهنده روند افزایشی در شاخص‌های خشکی CDD در ۷۰ درصد از ایستگاه‌ها به ویژه روند افزایشی معنی‌دار در ایستگاه دارابکلا و روند کاهشی در شاخص‌های رطوبت و بارش متوالی(R99P, CWD) در نیمی از ایستگاه‌های دارای شرایط آب و هوایی مناسب نظیر رامسر و چمستان بود. همچنین تغییرات توزیع مکانی بارش در سطح استان با توجه به بررسی روند کاهشی و افزایشی شاخص‌های حداکثر بارش و رطوبت مشاهده شد. نتایج حاصل از آزمون من-کندال نشان دهنده افزایش معنی‌دار و کاهش معنی‌دار شاخص R10 در ایستگاه چمستان و پنجاب به ترتیب با مقادیر P-value ۰/۰۲۵ و ۰/۰۴۷ بود. نتایج حاصل از دوره ۲۱ ساله بیانگر آن است که تقریبا ایستگاه‌های که در غرب استان قرار دارند دارای شیب افزایشی و ایستگاه‌های شرقی‌تر استان دارای شیب کاهشی در شاخص R10 می‌باشند. بنابراین می‌توان نتیجه حاضر را به جهت نفوذ توده‌های هوای بارانی نسبت داد که اغلب از غرب استان وارد می‌شوند و سبب بارش‌های بیشتر در تعداد روزهای بیشتری از سال شده‌اند.

واژه‌های کلیدی:

شاخص حدی، تغییر اقلیم، بارش، روند، مازندران

مقدمه

رویدادهای حدی اقلیمی در شرایط دمایی و بارش‌های حدی رخ می‌دهد. بنابراین تجزیه و تحلیل دما و بارش‌های حدی ضروری به نظر می‌رسد. یکی از عوامل مشخص‌کننده‌ی تغییرات اقلیمی، بروز تغییرات در پدیده‌های اقلیمی حدی از جمله تشدید چرخه‌ی هیدرولوژی، تغییر در فرکانس خشکسالی‌ها، سیل‌ها و گسترش تغییر دامنه‌ی تحت پوشش سیل و خشکسالی در مناطق جدید است. توجه به تغییرات اقلیمی در سال های اخیر به علت نتایج اقتصادی ، اجتماعی و خسارات مالی مربوط به رویدادهای حدی جوی اهمیت زیادی پیدا کرده است. در اکثر مطالعات توجه به تغییر اقلیم فقط درصدد آشکارسازی روندهای پتانسیلی یا نوسانات در متوسط طولانی مدت علائم اقلیمی است. اما مطالعه تغییرپذیری و تغییر رفتار رویدادهای حدی جوی نیز مهم می‌باشد. این مسئله از زمانی که برخی مدل‌های اقلیمی نشان دادند که تغییرات اقلیمی در قرن بیست و یکم سبب افزایشی در فراوانی رویدادهای حدی می‌شود، بیشتر مورد توجه و دقت قرار گرفت (Karl و Knight، ۲۰۰۰). نتایج بسیاری از تحقیقات بیانگر آن است که اقلیم قرن بیست و یکم بسیار متفاوت‌تر از اقلیم قرن بیستم خواهد بود و این مسئله نقش فعالیت‌های انسانی در تغییر اقلیم را متذکر می‌شود. بررسی‌های جدید افزایشی در متوسط جهانی دما حدود ۰/۴ تا ۰/۸ درجه را طی قرن بیستم نشان می‌دهد (هیأت تعدیل و سازگاری دیده‌بانی‌ها، ۲۰۰۰)، اگرچه این روند از نظر مکانی و زمانی یکنواخت نیست. بیشتر تحلیل‌های شاخص‌های حدی بارش از نیمه دوم قرن بیستم، زمانی که سازمان هواشناسی (WMO) تکنیک مطالعه سری‌های زمانی را یکی از رهیافت‌های مطالعاتی خود معرفی نمود، در مقیاس‌های مختلف زمانی انجام شدند.

علیجانی و همکاران (۱۳۹۰) تغییرات کمینه‌ها و بیشینه‌های سالانه دما در ایران را مورد بررسی قرار دادند، نتایج پژوهشی آنها حاکی از تقریبا دو برابر بودن تغییرات در میانگین دماهای حداقل در مقایسه با میانگین دماهای حداکثر بود. ارزیابی روند و جهش نمایه‌های حدی دما و بارش در استان هرمزگان توسط رحیم زاده و همکاران (۱۳۹۰)، مورد بررسی قرار گرفته و نتایج کلی حاصل از این بررسی نشان دهنده تشدید گرمایش و کاهش بارش در این استان بوده است. خورشید دوست و همکاران (۱۳۹۲)، روند شاخص-های حدی دما و بارش بر اساس سری‌های زمانی روزانه ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه در دوره آماری ۴۸ ساله (۲۰۰۹-۱۹۶۱) با استفاده از نرم افزار R CLIMDEX و MINITAB مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که شاخص‌های حدی سرد روند کاهشی و شاخص‌های حدی گرم روند افزایشی محسوسی دارند. شاخص‌های حدی بارش شدید و بلند مدت نیز روند کاهشی با شیب بسیار کمی را نشان می‌دهند و شاخص حدی بارش کم نیز روند افزایشی ضعیفی را نشان می‌دهد.

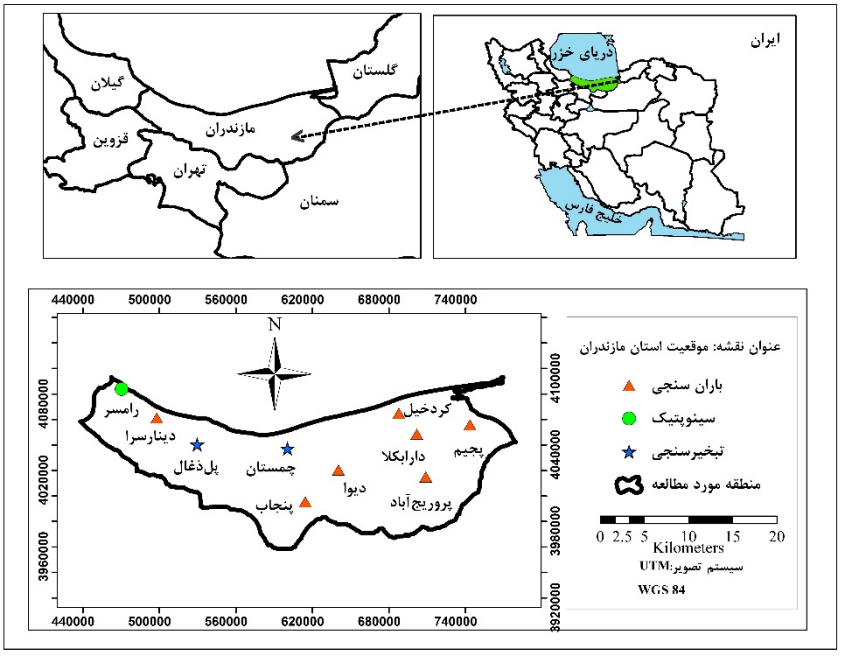
Klein و Konnen (۲۰۰۳)، با استفاده از داده‌های اقلیمی صد ایستگاه هواشناسی، به بررسی روند شاخص‌های حدی بارش در اروپا پرداختند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد رخدادهای حدی مرطوب در منطقه مورد مطالعه رو به افزایش است. New و همکاران (۲۰۱۳) شواهد روند در حدهای اقلیمی روزانه در جنوب و غرب افریقا را با استفاده از داده‌های اقلیمی چهارده کشور از قاره‌ی افریقا بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد، از نظر روند بارش، در میزان بارش‌ها کاهش وجود دارد، اما از نظر آماری درخور توجه نیست، اما در ریزش بارش‌های شدید و طول دورهٔ خشک افزایش مشاهده می‌شود. Nandintsetseg و همکاران (۲۰۰۷)، در پژوهشی که بر روی روندهای بارندگی و دماهای حدی در اطراف دریاچه مونگولیا انجام دادند به این نتیجه رسیدند که روزهای داغ و شب‌های گرم در حال افزایش و روزها و شب‌های سرد در حال کاهش می‌باشند. Brown و همکاران (۲۰۱۰) در تحقیقی تغییر در شاخص‌های حدی اقلیمی شمال شرق ایالات متحده را طی سال‌های ۲۰۰۵-۱۸۷۰ بررسی کردند. نتایج حاصل از تحقیق آن‌ها نشان داد که در بارش منطقه مورد مطالعه تغییرات کمی مشاهده می‌شود. با وجود این، منطقه به سمت شرایط مرطوب‌تر تمایل دارد. Gajic-Capka وCindric (۲۰۱۱) به بررسی روندهای زمانی شاخص‌های بارش حدی در فاصل زمانی ۲۰۰۸-۱۹۰۱ در کرواسی پرداختند. نتایج مطالعه آنان روند کاهشی را در مقادیر بارش‌های سالیانه از آغاز قرن بیستم در سرتاسر کشور کرواسی نشان داد. مقادیر بارش‌های حدی هم در مقیاس فصلی هم سالیانه تغییرپذیری بسیار زیادی نشان داد. Chieh-Kao و Ganguly (۲۰۱۱) شدت، تداوم، و فراوانی بارش‌های حدی را در ارتباط با سناریوهای گرمایش جهانی قرن بیستم مطالعه و بررسی کردند. آن‌ها دریافتند که روند بارش‌های حدی در مقیاس جهانی به شدت در حال افزایش است، به طوری که این روند افزایشی اثرهای درخور توجهی در منحنی‌های شدت، تداوم، و فراوانی داشته است. Warner و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی رخداد بارش‌های حدی زمستانه در امتداد سواحل شمال غرب امریکا و سواحل شرقی اقیانوس آرام پرداختند. نتایج تحلیل‌های سینوپتیکی و نقشه‌های ترکیبی آنان نشان داد که آنومالی‌های منفی در فشار

سطح دریا و ارتفاع ژئوپتانسیل سطح بالا در مرکز اقیانوس آرام، آنومالی های فشار در جنوب غرب امریکا، آنومالی های مثبت درجه حرارت سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال در امتداد ساحل و آب قابل بارش زیاد و شارش بخار آب روی جنوب غرب باعث ریزش بارش‌های حدی در منطقه مورد مطالعه می شود.

غالب بررسی‌های انجام گرفته در ارتباط با تغییرات شاخص‌های حدی بارش، کاهش شاخص‌های تعداد روزهای متوالی مرطوب و دارای بارش و افزایش بارش‌های حدی و شاخص روزهای خشک را گزارش کرده‌اند. با توجه به اینکه تغییرات اقلیمی و اثرات آن از مکانی به مکان دیگر متفاوت بوده و نمی‌توان نتایج مربوط به یک منطقه با شرایط و ویژگی‌های منحصر به فرد آن منطقه را به سایر مناطق تعمیم داد و همچنین موقعیت خاص استان مازندران به عنوان یکی از قطب‌های کشاورزی و مرکبات کشور، در پژوهش حاضر به بررسی تغییرات و روند شاخص‌های حدی بارش در ۱۰ ایستگاه در استان مازندارن پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

داده‌های بارش روزانه در دوره آماری اساس و مبنای تراز و تعدیل آماری، آمار ایستگاه‌های هواشناسی می‌باشد که در مطالعات پتانسیل‌یابی بصورت شبکه‌ای انجام می‌شود. هر چه تراکم ایستگاه‌ها بیشتر باشد نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آمار و اطلاعات دقیق تر می‌باشد. مبنای انتخاب ایستگاه‌های هواشناسی طول دوره آماری قرار گرفته است. یعنی ایستگاه‌های که دارای دوره آماری طولانی‌تر باشند به عنوان ایستگاه‌های مورد مطالعه انتخاب می‌شوند. برای انجام این پژوهش برای بررسی شاخص‌های حدی بارش (R10، R20 ، R95P، R99P ، RX5day ، CWD ، CDD ، RX1day) در استان مازندران از داده‌های روزانه بارش ۱۰ ایستگاه هواشناسی دریافتی از وزارت نیرو در منطقه، طی بازه زمانی ۲۱ ساله (۲۰۱۶-۱۹۹۷) استفاده شد. شکل ۱ موقعیت و پراکندگی ایستگاه‌ها و جدول ۱ مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی باران سنجی، همدید و تبخیرسنجی مورد استفاده در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت و پراکندگی ایستگاه‌های مورد استفاده در مطالعه

جهت اطمینان از صحت داده‌ها آزمون همگنی داده‌ها انجام شد. برای همگنی داده‌ها از روش گردشی حول میانگین یا ران - تست استفاده شده است. برای استخراج روند بارش روزانه از نرم افزار RClimDex استفاده شده است. این نرم افزار برای محاسبه روند شاخص‌های حدی دما و بارش توسعه یافته است (Zhang و همکاران، ۲۰۰۵). نرم افزار RClimDex بر اساس آستانه‌های تعریف شده برای هر شاخص میزان شیب آن‌ها را در طی دوره‌ی آماری محاسبه می‌کند. سنجه بارش یکی از مهم‌ترین عناصر جوی هست که برای

شناسایی تغییر اقلیم توسط مراکز پژوهشی شناسایی تغییر اقلیم و پژوهشگران مختلف استفاده شده است. جدول ۲ ویژگی‌های شاخص‌های حدی بارش را نشان می‌دهد. در ادامه جهت مشخص نمودن معنی‌دار بودن روند تغییرات شاخص‌های حدی بارش از آزمون من-کندال استفاده شد. با استفاده از p-value حاصل از من- کندال نیز می‌توان به معنی‌دار بودن روند تغییرات پی برد. در حالی که اگر مقادیر p-value بزرگتر از ۰/۰۵ باشد، روند تغییرات معنی‌دار نبوده و اگر بین ۰/۰۵ تا ۰/۰۱ باشد، روند تغییرات با اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار می‌باشد. در نهایت p-value کمتر از ۰/۰۱ روند تغییرات با اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار می‌باشد.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده

نام ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا
چمستان	تبخیرسنجی	°۵۲۰۷ ′ ۱۵ ″	°۳۶ ۲۸′ ۳۲ ″	۱۵
دارابکلا	باران سنجی	°۵۳ ۱۵′ ۲۰ ″	°۳۶ ۳۳′ ۳۷ ″	۱۱۵
دینارسرا	باران سنجی	°۵۰ ۵۸′ ۳۸ ″	°۳۶ ۴۱′ ۴۸ ″	۱۶۰
کردخیل	باران سنجی	°۵۳ ۰۶′ ۱۲ ″	°۳۶ ۴۲′ ۴۱ ″	-۵
پجیم	باران سنجی	°۵۳ ۴۳′ ۲۵ ″	°۳۶ ۳۵′ ۶۵ ″	۱۲۴۴
پنجاب	باران سنجی	°۵۲ ۱۶′ ۱۵ ″	°۳۶ ۰۵′ ۵۰ ″	۹۲۰
رامسر	سینوپتیک	°۵۰ ۴۰′ ۲۵ ″	°۳۶ ۵۳′ ۶۰ ″	-۲۱
دیوا	باران سنجی	°۵۲ ۴۳′ ۵۲ ″	°۳۶ ۱۹′ ۱۰ ″	۱۶۰
پروریچ آباد	باران سنجی	°۵۳ ۱۹′ ۲۹ ″	°۳۶ ۱۵′ ۲۸ ″	۱۳۰۰
پل ذغال	تبخیرسنجی	°۵۱ ۱۹′ ۵۲ ″	°۳۶ ۳۵′ ۳۰ ″	۳۶۰

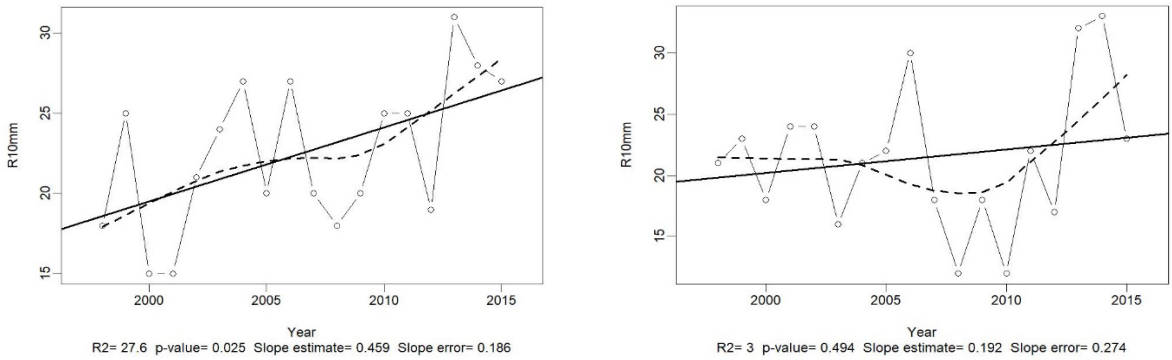
جدول۲- ویژگی‌های شاخصهای حدی بارش

شناسه	نام شاخص	تعاریف
R10	تعداد روزهای دارای بارش سنگین	تعداد روزهای دارای بارش ۱۰ میلیمتر و بیشتر در سال
R20	تعداد روزهای دارای بارش خیلی سنگین	تعداد روزهای دارایی بارش ۲۰ میلیمتر و بیشتر در سال
R95p	روزهای خیلی مرطوب	بیش از ۹۵درصد از مجموع بارش سالانه
R99p	روزهای بی نهایت مرطوب	بیش از ۹۹ درصد ازمجموع بارش سالانه
RX1day	حداکثر بارش روزانه	حداکثر بارش روزانه در ماه
RX5day	مقدار حداکثر بارش ۵روز متوالی	حداکثر بارش ۵روز متوالی در ماه
CWD	روزهای مرطوب متوالی	حداکثر تعداد روزهای متوالی دارای بارش ۱ میلیمتر و بیشتر
CDD	روزهای خشک متوالی	حداکثر تعداد روزهای متوالی دارای بارش کمتر از ۱ میلیمتر

نتایج و بحث

۱- شاخص تعداد روزهای دارای بارش سنگین (R10)

بیشترین شیب افزایشی شاخص تعداد روزهای دارای بارش سنگین در طی دوره آماری ۲۱ ساله در ایستگاه چمستان با مقدار ۰/۴۵۹ و بیشترین شیب کاهشی در این دوره در ایستگاه پنجاب با مقدار ۰/۱۸۷- مشاهده شد. بیشترین تعداد روزهای دارای بارش سنگین در ایستگاه چمستان ۳۱ روز در سال ۲۰۱۳ و در ایستگاه پنجاب ۹ روز در سال ۲۰۱۶ بوده و کمترین تعداد روزهای دارای بارش سنگین در این دو ایستگاه نیز، چمستان ۱۵ روز در سال ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ و در پنجاب تعداد صفر روز در سال ۲۰۰۸ بوده است (شکل۳). همچنین نتایج حاصل از آزمون من-کندال نشان دهنده افزایش معنی‌دار و کاهش معنی‌دار شاخص R10 در ایستگاه چمستان و پنجاب به ترتیب با مقادیر P-value ۰/۰۲۵ و ۰/۰۴۷ بود. نتایج حاصل از دوره ۲۱ ساله بیانگر آن است که تقریبا ایستگاه‌های موجود در غرب استان قرار دارند دارای شیب افزایشی و ایستگاه‌های شرقی‌تر استان دارای شیب کاهشی در شاخص R10 می‌باشند. می‌توان این نتیجه را به جهت نفوذ توده‌های هوای بارانی نسبت داد که اغلب از غرب استان وارد می‌شوند و سبب بارش‌های بیشتر در تعداد روزهای بیشتری از سال شده‌اند.

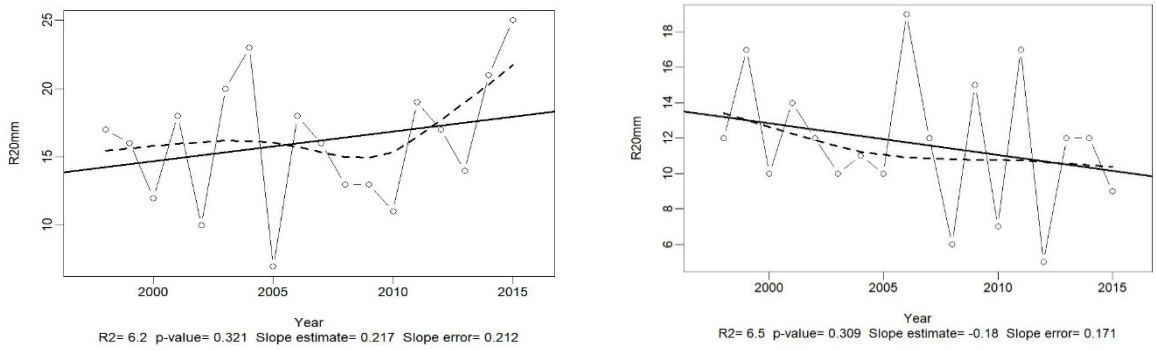


(الف) (ب)

شکل ۳- نمودار شاخص R10 برای ایستگاه‌های چمستان(الف) و پنجاب (ب)

۲- شاخص تعداد روزهای دارای بارش خیلی سنگین(R20)

این نمایه که فراوانی روزهای با بارش خیلی سنگین را نشان می‌دهد و افزایش آن غالباً در جهت پیامدهای افزایش گازهای گلخانه-ای است (Frich و همکاران، ۲۰۰۲) ، در ۶ ایستگاه منطقه با روند شیب کاهشی، همراه می‌باشد. در مابقی ایستگاه‌ها نیز با توجه به مقادیر P-value دارای روند افزایشی معنی‌دار نبوده است. بیشترین شیب افزایشی شاخص تعداد روزهای دارای بارش خیلی سنگین در رامسر با مقدار ۰/۲۱۷ و بیشترین مقدار شیب کاهشی در ایستگاه کردخیل با مقدار ۰/۱۸- مشاهده شد (شکل ۴). در این شاخص نیز می‌توان جهت ورود اغلب توده‌های هوای مرطوب از غرب به شرق استان را در روند افزایشی در رامسر (غربی‌ترین ایستگاه) و روند کاهشی در کردخیل (شرقی‌ترین ایستگاه) دخیل دانست.

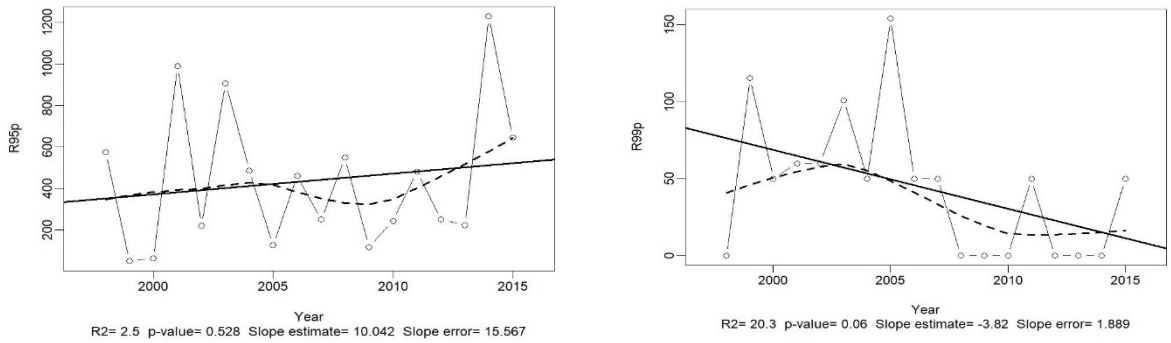


(الف) (ب)

شکل ۴- نمودار شاخص R20 برای ایستگاه‌های رامسر(الف) و کردخیل (ب)

۳- شاخص روزهای خیلی مرطوب $R95_P$

با توجه به آنکه شاخص‌های $R95_P$ و $R99_P$ بر اساس مقایسه بارش‌های شدید روزانه با صدک‌های ۹۵ ام و ۹۹ ام همان ایستگاه می‌باشد، تفسیر آنها در مقایسه با نمایه‌های با آستانه ثابت مانند R20mm ، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار خواهد شد. بیشترین مقدار شیب افزایشی شاخص روزهای خیلی مرطوب برای ایستگاه رامسر با مقدار ۱۰/۰۴۲ و بیشترین مقدار شیب کاهشی در طی دوره ۲۱ ساله در ایستگاه دیوا با مقدار ۷/۱۵۵- رخ داد (جدول ۴ ، شکل ۵) . شیب کاهشی شاخص$R95_P$ با توجه به اطلاعات جدول ۵ در ایستگاه دیوا با مقدار P-value ۰/۰۲۳ معنی‌دار شد. بیشترین مقدار رطوبت در رامسر در سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۳ و ۲۰۱۴ به ترتیب با مقادیر ۱۲۳۰/۴، ۹۸۹/۴ و ۹۰۷/۱ میلیمتر و بیشترین مقدار رطوبت در دیوا در سال‌های ۱۹۹۹، ۲۰۰۵ و ۲۰۰۶ به ترتیب با مقادیر ۳۰۲/۵، ۲۲۹ و ۲۵۴ میلیمتر ثبت شده است. با توجه به موقعیت جغرافیایی رامسر، ارتفاع منفی نسبت به سطح دریای آزاد ، فاصله کم از دریا و ساحلی بودن این شهرستان همواره مقادیر رطوبتی بالایی داشته و شیب افزایشی آن نسبت به سایر ایستگاه‌ها محسوس‌تر است.

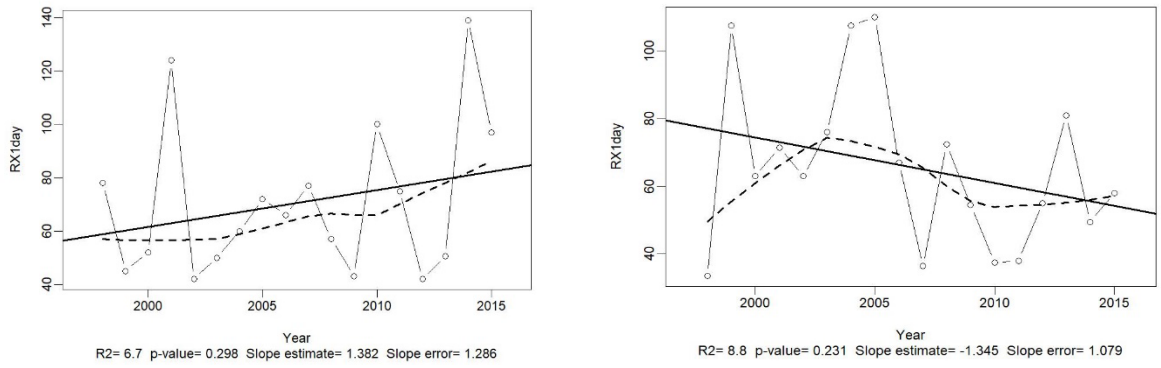


(الف) (ب)

شکل ۵- نمودار شاخص $R95_P$ برای ایستگاه‌های رامسر(الف) و دیوا (ب)

۴- شاخص حداکثر بارش روزانه (RX1day)

اگر در یک ایستگاه آمار بارش‌های روزانه در نظر گرفته شود، یک روز در طول سال وجود خواهد داشت که مقدار بارندگی آن از بارندگی بقیه روزهای سال بیشتر است که حداکثر بارش ۲۱ ساعته در آن سال نامیده می‌شود. بارندگی‌های شدید و رگباری به دلیل اثرات مخرب و زیانبارشان بر طبیعت لازم است مورد بررسی دقیق قرار گیرند و در مدت زمان برنامه‌ریزی برای امور مختلف کشاورزی، عمرانی و غیره بایستی از لحاظ شدت و مدت فراوانی کاملا مورد توجه باشند. بیشترین شیب افزایشی شاخص حداکثر بارش در طی دوره ۲۱ ساله در استان مازندران در ایستگاه دارابکلا با مقدار ۱/۳۸۲ و بیشترین شیب کاهشی در ایستگاه چمستان با مقدار ۱/۳۴۵- می‌باشد (جدول ۴). حداکثر بارش روزانه در دارابکلا به مقدار ۱۳۹ میلیمتر در سال ۲۰۱۴ و حداکثر بارش روزانه در طی این دوره در ایستگاه چمستان مقدار ۱۱۰ میلیمتر در سال ۲۰۰۵ رخ داده است. با توجه به نتایج ایستگاه‌های دینارسرا، پنجاب، پل ذغال و دیوا نیز دارای شیب کاهشی و ایستگاه‌های کردخیل، پجیم، رامسر و پروریج آباد دارای شیب افزایشی بودند ولی این فراز و فرودها در طی دوره آماری معنی‌دار نبود (شکل ۶).

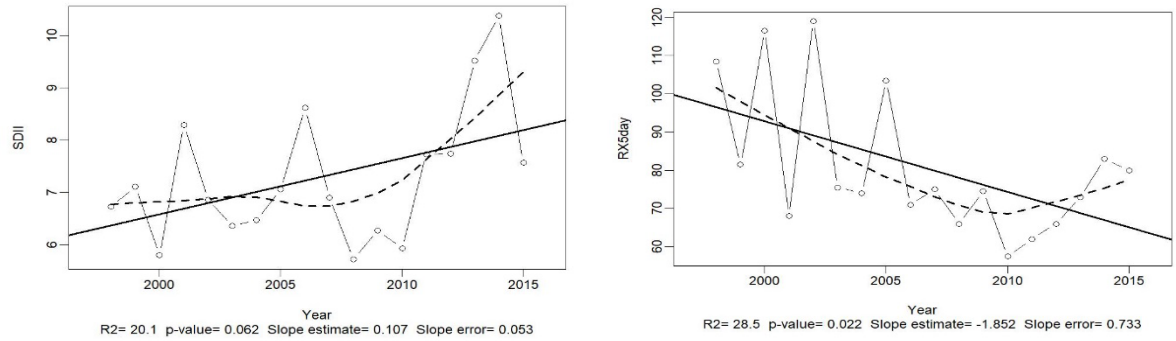


(الف) (ب)

شکل ۶- نمودار شاخص RX1day برای ایستگاه‌های داراب کلا(الف) و چمستان (ب)

۵- شاخص حداکثر بارش ۵ روز متوالی (RX5day)

این شاخص بیانگر تداوم فعالیت سامانه‌های باران‌زا و یا ناپایداری در دوره‌های چند روزه است. با توجه به اهمیت بارش به ویژه در تامین منابع آب منطقه بررسی نقش تداوم‌های بارش در تامین آن ضروری می‌باشد. با توجه به اقلیم مازندران و شرایط جغرافیایی انتظار می‌رود که بیشترین تداوم بارش را در ایستگاه‌های غربی استان داشته باشیم اما با توجه به نتایج این پژوهش مشاهده شد که ایستگاه پجیم با بیشترین شیب افزایشی با مقدار ۰/۸۶۵ و بعد از آن به ترتیب ایستگاه پل ذغال، دارابکلا، رامسر و پروریج آباد بیشترین تداوم بارش را داشته‌اند. بیشترین شیب کاهشی شاخص RX5day در ایستگاه دیوا با مقدار ۱/۸۵۲- مشاهده شد (شکل ۷) و البته این روند کاهشی در طی دوره ۲۱ ساله با P-value ۰/۰۲۲ معنی‌دار بود (جدول ۵).

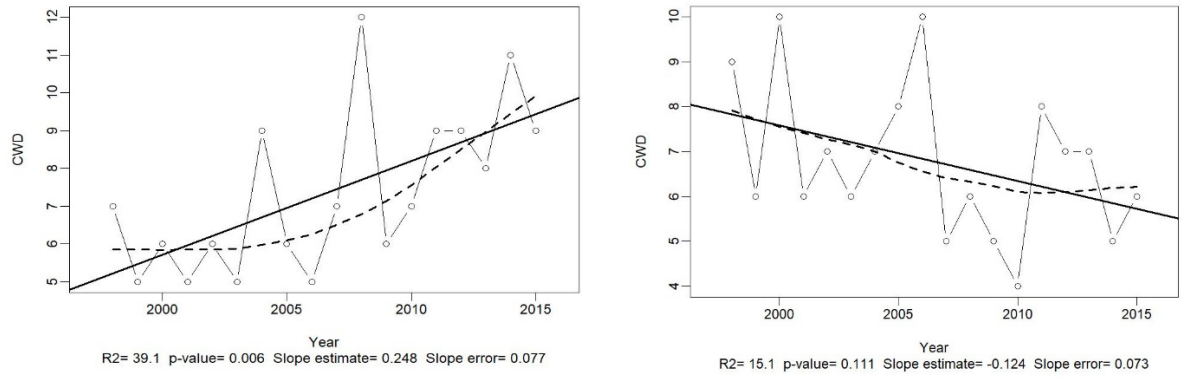


(الف) (ب)

شکل ۷- نمودار شاخص RX5day برای ایستگاه‌های داراب کلا(الف) و چمستان (ب)

۶- شاخص روزهای مرطوب متوالی (CWD)

بیشترین شیب افزایشی شاخص روزهای مرطوب متوالی در طی این دوره در ایستگاه دینارسرا با مقدار ۰/۲۴۸ و بیشترین شیب کاهشی در ایستگاه پروریج آباد و دارابکلا به ترتیب با مقدار ۰/۱۲۴- و ۰/۱۲۱- ثبت شد (شکل ۹، جدول۴) . شیب افزایشی در دینارسرا با مقدار P-value ۰/۰۰۶ معنی‌دار بود (جدول ۵).

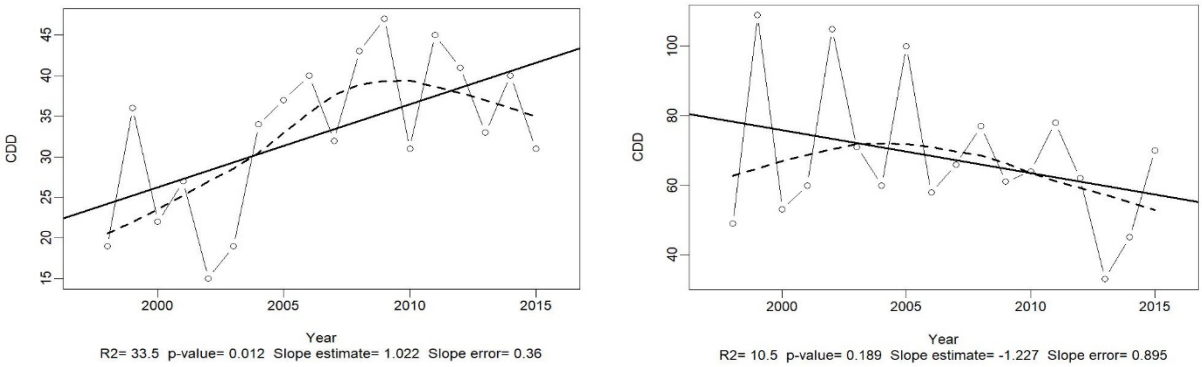


(الف) (ب)

شکل۹- نمودار شاخص CWD برای ایستگاه‌های دینارسرا (الف) و پروریج آباد(ب)

۷- شاخص روزهای خشک متوالی (CDD)

شاخص روزهای خشک متوالی می‌تواند از نشانه‌های بروز خشکسالی در منطقه باشد. با توجه به اینکه کشاورزی، زراعت و باغداری شغل غالب ساکنان استان مازندران می‌باشد، داشتن اطلاعات دقیقی از روند احتمال بروز خشکسالی و روند افزایشی دما و در نهایت شاخص روزهای خشک برای پیش‌بینی تقویم زراعی و کشت محصول متناسب با آمایش سرزمین در شرایط جدید می‌تواند راهگشا باشد. نتایج این پژوهش در جدول ۴ نشان داد بیشترین شیب افزایشی روند شاخص CDD در ایستگاه‌های چمستان، رامسر، دینارسرا و دیوا به ترتیب با مقادیر ۱/۰۲۲، ۱/۰۰۴، ۰/۸۹۵ و ۰/۷۸۱ مشاهده شد و بیشترین شیب کاهشی این شاخص در ایستگاه‌های پنجاب، پل ذغال و پروریج آباد به ترتیب با مقادیر ۱/۲۲۷- ، ۰/۲۸۵- و ۰/۰۲۶- رخ داد (شکل ۱۰). لازم به ذکر است که بر اساس نتایج حاصل از آزمون من – کندال روند افزایشی در چمستان و دینارسرا معنی‌دار است (جدول ۵).



(الف) (ب)

شکل۱۰- نمودار شاخص CDD برای ایستگاه‌های چمستان (الف) و پنجاب (ب)

جدول ۴- شیب شاخص های حدی بارش در دوره آماری ۲۰۱۶-۱۹۹۷ (علامت منفی روند کاهش و علامت مثبت روند افزایشی)

ایستگاه‌ها	R10	R20	R95P	R99P	RX1day	RX5day	CWD	CDD
چمستان	۰/۴۵۹	۰/۰۶۹	۰/۳۲۶	-۵/۶۸۵	-۱/۳۴۵	-۰/۳۵۳	-۰/۰۴۹	۱/۰۲۲
داراب کلا	-۰/۱۳۲	-۰/۰۷۶	۳/۹۶۴	۷/۳۲۸	۱/۳۸۲	۰/۲۹۵	-۰/۱۲۱	۰/۰۰۴
دینارسرا	-۰/۰۷۴	-۰/۱۴۳	-۶/۷۹۳	-۳/۳۳۶	-۰/۲۹۸	-۰/۷۷۱	۰/۲۴۸	۰/۸۹۵
کردخیل	۰/۰۱۴	-۰/۱۸	۴/۷۴۶	۳/۲۸۵	۰/۳۶	۰/۰۰۸	-۰/۰۱۸	۰/۱۵۵
پجیم	۰/۱۹۲	۰/۰۵۸	۲/۶۷۳	۱/۰۰۳	۰/۱۸۲	۰/۸۶۵	۰/۰۴۴	۰/۶۶
پنجاب	-۰/۱۸۷	-۰/۰۵۲	-۲/۱۶۴	-۲/۰۷۹	-۰/۷۶	-۰/۷	۰/۰۰۹	-۱/۲۲۷
رامسر	۰/۰۹	۰/۲۱۷	۱۰/۰۴۲	-۰/۸۱۶	۰/۳۴۴	۰/۱۳۱	-۰/۰۰۶	۱/۰۰۴
دیوا	۰/۰۴۵	-۰/۱	-۷/۱۵۵	-۳/۸۲	-۰/۸۶۸	-۱/۸۵۲	۰/۰۲۷	۰/۷۸۱
پروریچ آباد	-۰/۱۱۵	-۰/۰۴۱	۱/۵۰۶	۲/۳۷۶	۰/۱۸	۰/۰۷۲	-۰/۱۲۴	-۰/۰۲۶
پل ذغال	۰/۱۱	۰/۰۳۳	۰/۳۹۳	-۰/۳۸۴	-۰/۳۳۵	۰/۶۵۹	۰/۰۴۷	-۰/۲۸۵

جدول۵- میزان محاسبه معنی داری (P-value) شاخص‌های محاسبه شده در ایستگاه‌های مورد مطالعه

ایستگاه‌ها	R10	R20	R95P	R99P	RX1day	RX5day	CWD	CDD
چمستان	۰/۰۲۵*	۰/۶۶	۰/۹۶۱	۰/۱۷۸	۰/۲۳۱	۰/۸۵۳	۰/۴۸۳	۰/۰۱۲*
داراب کلا	۰/۶۲۴	۰/۶۸۵	۰/۴۴۴	۰/۰۵۱	۰/۲۹۸	۰/۸۲۹	۰/۱۴۷	۰/۰۶۵
دینارسرا	۰/۷۶۵	۰/۴۸۹	۰/۲۷۸	۰/۵۷۹	۰/۸۶۸	۰/۷۸۳	۰/۰۰۶*	۰/۰۴۹*
کردخیل	۰/۹۶	۰/۳۰۹	۰/۲۵۹	۰/۳۱۹	۰/۶۷۴	۰/۹۹۷	۰/۷۹۵	۰/۷۴۹
پجیم	۰/۴۹۴	۰/۷۱۱	۰/۶۳۲	۰/۷۴۲	۰/۸۱۳	۰/۵۷۱	۰/۶۲۵	۰/۰۶۴
پنجاب	۰/۰۴۷*	۰/۱۲۲	۰/۲۳۸	۰/۱۴۵	۰/۱۸۵	۰/۴۲۲	۰/۸۶۴	۰/۱۸۹
رامسر	۰/۷۵۵	۰/۳۲۱	۰/۵۲۸	۰/۹۳۶	۰/۹۱۲	۰/۹۷۹	۰/۹۲۳	۰/۱۱۹
دیوا	۰/۸۶	۰/۵۰۱	۰/۰۳۳	۰/۰۶	۰/۰۱۱*	۰/۰۲۲*	۰/۶۰۵	۰/۱۲۵
پروریچ آباد	۰/۶۱۹	۰/۷۸۴	۰/۶۳۶	۰/۳۷۳	۰/۷۸۴	۰/۹۶۶	۰/۱۱۱	۰/۹۵۷
پل ذغال	۰/۵۰۲	۰/۶۷۹	۰/۸۸۲	۰/۷۶۹	۰/۳۱۵	۰/۱۹۳	۰/۲۸۱	۰/۶۹۸

* معنی داری در سطح ۹۵ درصد

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

تغییر الگوها و پراکنش زمانی - مکانی بارش‌ها از پیامدهای مهم تغییر اقلیم است. همچنین، تغییرِ رخدادها و شاخص‌های حدی بارش مانند حداکثر بارش ۲۴ ساعته، بارش‌های سنگین، و تعداد روزهای خشک از اثرات تغییر اقلیم به شمار می‌رود. تحقیق حاضر به منظور بررسی تغییرات و روند شاخص‌های حدی بارش در ۱۰ ایستگاه در استان مازندارن انجام شد. نتایج این پژوهش در طی دوره آماری ۲۱ سال از سال ۱۹۹۷ تا ۲۰۱۶ به طور خلاصه و در مهم‌ترین ابعاد به شرح ذیل ارائه می‌شود.:

از نظر شاخص روزهای خشک متوالی (CDD) ۷۰ درصد از ایستگاه‌های مورد مطالعه روند افزایشی داشتند و تنها در سه ایستگاه این شیب منفی بود. لازم به ذکر است که شیب کاهشی اغلب در ایستگاه‌هایی اتفاق افتاد که در بخش شرقی استان که کمتر تحت نفوذ توده هوای سرد مدیترانه‌ای که سمت غرب به ایران وارد می‌شوند قرار می‌گیرد که این امر می‌تواند نشانگر بروز تغییرات اقلیمی در استان باشد، بدین صورت که مناطق غربی استان که همواره از نظر بارش غنی بودند در معرض افزایش شاخص خشکی قرار گرفتند. در بحث شاخص روزهای مرطوب متوالی (CWD) ۵۰ درصد ایستگاه‌ها داری شیب کاهشی بودند که در میان این ایستگاه‌ها روند کاهشی در رامسر، چمستان و کردخیل که از شهرهای ساحلی استان مازندران محسوب می‌شوند و از رطوبت دریا به سمت خشکی منتفع هستند جالب توجه است و این امر می‌تواند تأییدی بر روند گرمایش زمین و افزایش دما و در نهایت تغییرات اقلیمی باشد. از نظر حداکثر بارش ۲۴ ساعته (Rx1day) و حداکثر بارش پنج روزه (Rx5day) نیز برخی ایستگاه‌های غربی و ساحلی استان روند کاهشی داشتند که با توجه به عوامل ذکر شده مانند فاصله کم از دریا و در قرار گرفتن در معرض توده هوای مدیترانه‌ای می‌تواند نشانه دیگری از بروز تغییرات اقلیمی و تغییرات زمانی و مکانی بارش که از نتایج تغییر اقلیم است، باشد. در مجموع، تغییرات و روند بارش در دوره مطالعاتی با نتایج سایر تحقیقات انجام شده در جهان (Klein tank و Konnen ،۲۰۰۳ ؛ Warner و همکاران، ۲۰۱۲) تطابق دارد، به طوری که در بیشتر تحقیقات روند در شاخص‌های حدی بارش مشاهده می‌شود، اما از نظر جهت روندها و تغییرات مکانی - زمانی تفاوت دارد. همچنین، نتیجه تحقیق حاضر با نتایج به دست آمده از مطالعات Zhang و همکاران (۲۰۰۵) در منطقه خاورمیانه و سایر مطالعات انجام شده در منطقه هم‌خوانی نسبی دارد. در بیشتر این مطالعات، میزان کلی بارش‌های سالانه دارای شیب منفی است.

پیشنهاد می‌شود با توجه به قرار گرفتن دو سوم ایران در کمربند خشکی جهان و بحران کاهش آب زیرزمینی و منابع آب در دسترس، مطالعات دقیق از شاخص‌های حدی بارش و دما برای کلیه‌ی استان‌ها انجام شود و از نتایج آن در بخش‌های مدیریتی برای جلوگیری از هم‌افزایی اثرات تغییر اقلیم با بحران‌های منابع آب در دسترس استفاده شود.

منابع

- خورشید دوست، ع.، س. زنگنه، و ی. زراعی. ۱۳۹۲. تحلیل و بررسی روند شاخص‌های حدی دما و بارش بر اساس سریهای زمانی روزانه ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه در دوره آماری ۴۸ ساله (۲۰۰۹- ۱۳۶۱). سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره بین‌المللی تخصص علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدن، ۱-۷.
- رحیم زاده، ف.، ا. هدایت دزفولی، و آ. پوراصغریان. ۱۳۹۰. ارزیابی روند و جهش نمایههای حدی دما و بارش در استان هرمزگان، جغرافیا و توسعه. شماره ۲۱: ۱۱۶-۹۷.
- علیجانی، ب.، پ. محمودی.، م. سلیقه، و ا.ب. ریگی چاهی. ۱۳۹۰. بررسی تغییرات کمینه‌ها و بیشینه‌های سالانه دما در ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. شماره ۳: ۱۲۲-۱۰۲.
- Brown, P, Raymond .J., Bradley S., Keimig F. T. 2010. Changes in Extreme Climate Indices for the Northeastern United States, 1870–2005, Journal of Climate, 23: 6555-6572.
- Chieh-Kao S and Ganguly, A.R. 2011. Intensity, duration, and frequency of precipitation extremes under 21st-century warming scenarios, Journal of Geophysical Research, Vol. 116, D16119, doi:10.1029/2010JD015529, 2011.
- Gajic-Capka, M. and Cindric, K. 2011. Secular trends in indices of precipitation extremes in Croatia, 1901-2008, Geofizika, 28: 2011.
- Karl, T. R., R. W. Knight, and B. Baker.2000. The record breaking global temperature of (1997 and 1998): Evidence for an increase in the rate of global warming? Geophys. Res. Lett., 27, 719–722. 20-Kendall, M. G., A. Stuart, and J. K. Ord, 1983: The Advanced Theoryof Statistics. Vol. 3, Design and Analysis, and Time- Series. 4th ed. Griffin, 780 pp.

- Klein tank, A.M.G. and Konnen, G.P. 2003. Trends in Indices of Daily Temperature and Precipitation Extremes in Europe, 1946-99, Journal of Climate, 16: 3665-3680.
- Nandintsetseg B, Greene J.S, Goulden C.E. 2007. "Trends in Extreme Daily Precipitation and Temperature Near Lake Hovsgol", Mongolia, International Journal of Climatology, 27: 341-347.
- New, M.; Hewitson ,B.; Stephenson ,D. B.; Tsiga, A.; Kruger .A.;Manhique .A.; Gomez. B.; Coelho ,Caio A. S..; Dorcas ,N M.; Skansi. M de los M.; Manola ,B.; Javier .S.; Aguilar, E .; Groening ,J A A .; Bentancur ,O J .; Geier ,Y. R. C.; Amaya ,R. L. C .; Jácome ,H .; Ramos ,A. M .; Rojas, C. O , Pasten, A. M , Mitro ,S .S , Jiménez ,C. V .; Martínez, R .; Alexander, L. V , Jones ,P.D. 2013. Warming and wetting signals emerging from analysis of changes in climate extreme indices over South America, Global and planetary change, 100: 295-307.
- Panel on Reconcililing Temperature Observations.2000. Reconciling OBsers Global Temperature Change.climate research mission in Geoscience ,environment and resoures National research Concil,National Academy press,104pp
- Warner, M.D.; Mass, C.F. and Salathe, E.P. 2012. Wintertime Extreme Precipitation Events along the Pacific Northwest Coast: Climatology and Synoptic Evolution, *Monthly Weather Review*, Vol. 140, July 2012, DOI: 10.1175/MWR-D-11-00197.1
- Zhang, X.; Aguilar,E.; Sensoyو.S; Melkonyan,H.; Tagiyeva,U.; Ahmed N.; Kutaladze, N.; Rahimzadeh,F.; Taghipour,A.; Hantosh ,T. H..; Albert P.; Semawi ,M.; Karam Ali, M.; Al-Shabibi, M. H. S.; Al-Oulan, Z.; Zatari,T.; Al Dean Khelet, I.; Hamoud,S.; Sagir,R.; Demircan, M.; Eken ,M.;Adiguzel,M.; Lisa, A.; Peterson, T. C. .;Wallis ,T . 2005. Trends in Middle East climate extreme indices from 1950 to 2003, *Journal of Geophysical Research*, Vol. 110.